

西南丘陵山区矿山地质环境监测体系建设研究

司洪涛^{1,2,3} 朱冬雪^{1,2,3} 严有龙^{1,2,3} 刘江^{1,2,3} 马建忠⁴
李鑫^{1,2,3} 钟小华⁵ 彭小东^{1,2,3} 王科^{1,2,3} 王琛^{1,2,3}

(1. 重庆地质矿产研究院, 重庆 401120;

2. 自然资源部重庆典型矿区生态修复野外科学观测研究站(重庆地质矿产研究院), 重庆 401120;
3. 重庆市万盛矿区生态环境保护修复野外科学观测研究站(重庆地质矿产研究院), 重庆 401120;
4. 重庆市九龙坡地质环境监测站, 重庆 400050; 5. 忠县耕地保护和建设用地事务中心, 重庆 404300)

[摘要] 西南丘陵山区矿产资源开发利用诱发的矿山地质环境问题, 威胁矿山企业生产安全, 导致人民生活生活质量下降, 影响地区经济绿色可持续高质量发展。本文介绍了西南丘陵山区典型的矿山地质环境问题, 从监测对象与方法、政策、制度与技术手段等方面分析了西南丘陵山区矿山地质环境监测现状和存在问题, 并制定了矿山地质环境监测体系建设总体目标与体系框架, 提出了监测体系构建实施路径。矿山地质环境监测体系建设可为西南丘陵山区矿山企业系统化监测、矿山安全生产动态化管理提供技术支撑。

[关键词] 西南丘陵山区; 矿山地质环境问题; 监测体系; 地质安全; 地下水; 绿色发展

[中图分类号] X141; TD167

[文献标志码] A

[文章编号] 2097-2423(2024)05-0075-06

DOI: 10.19610/j.cnki.cn10-1873/lf.2024.05.011

0 前言

矿产资源是现代社会经济绿色可持续发展的重要物质基础, 矿产资源开发利用事关国计民生和国家安全^[1]。截至2022年底, 我国已发现173种矿产, 其中能源矿产13种, 金属矿产59种, 非金属矿产95种, 水气矿产6种; 煤炭年产量45.6亿t, 创历史新高^[2]。然而在矿产资源保供增效的同时, 也产生了一系列的矿山地质环境问题及影响效应, 如地表变形、土地挖损与压占、抽排地下水导致含水层破坏、水土流失及石漠化、水土污染等^[3-4]。

西南丘陵山区山高坡陡、矿区侵蚀切割强烈, 加之瞬时降雨强度大, 矿山开发利用引发的矿山地质环境问题突出^[5], 部分地区如重庆万盛经开区、贵州铜仁万山区的矿山地质环境问题已制约社会经济高质量发展。党的十八大以来, 党中央高度重视生态文明建设, 坚持节约资源和保护环境的基本国策, 其中绿色矿山建设成为推动矿业领域绿色高质量发展的重要手段。2015年由原国土资源部批准发布《矿山地质环境监测技术规程》, 规定了矿山地质环境监测工作流程、监测方案编写、监测点布设、主要监测方法、监测数据采集、分析与成果编制等要求; 2019年新修订的《矿山地质环境保护规定》要求采矿权人应当定期向相关部门报告矿山地质环境情况, 如实提交监测资料; 2023年《关于进一步加强绿色矿山建设的通知》中也要求对矿井水、尾矿库、地下水、矿区生态系统、地面变形等内容进行动态监测; 自然资源部最新发布的《矿山土地复垦与生态修复监测评价技术规程》也对修复矿山的监测内容与方法、评价方法等方面进行了规定。然而, 当前矿山地质环境监测并未真正全面开展, 存在监测要素不系统, 针对性监测缺乏, 监测手段单一、人工为主、自动化监测为辅等问题, 监测体系事前预防作用不足^[6-10]。因此, 为保障西南丘陵山区矿山生产安全, 科学制定监测目标,

[收稿日期] 2024-08-22

[基金项目] 重庆市科研机构绩效激励引导专项(编号: YJXJL2023-05)。

[作者简介] 司洪涛(1988—), 男, 高级工程师, 主要从事矿山地质环境与山水林田草生态保护修复研究。

[引用格式] 司洪涛, 朱冬雪, 严有龙, 等. 西南丘陵山区矿山地质环境监测体系建设研究[J]. 绿色矿冶, 2024, 40(5): 75-80.

SI Hongtao, ZHU Dongxue, YAN Youlong, et al. Study on the construction of a mining geological environment monitoring system in the hilly regions of Southwest China[J]. Sustainable Mining and Metallurgy, 2024, 40(5): 75-80.

确定监测指标与方法,构建地质、水、土、气、生多要素的矿山地质环境监测体系,助推矿产资源高质量发展提供科学指导迫在眉睫。

1 西南丘陵山区矿山地质环境问题分析

西南丘陵山区矿产资源丰富,已发现包括金、铜、铅锌、汞锑、锡、铁、石灰岩、页岩等在内的 150 余种矿产资源。区内多高山峡谷,地质构造发育、山势陡峻、沟谷深切,导致区域以小型矿山分布为主,开采方式多为露天开采,矿山总体呈现出点小、面广、量多的分布特征,同时,在开采过程中常出现地表变形、含水层破坏、土地损毁与地形地貌景观破坏、生物多样性下降等问题。加之西南丘陵山区复杂的地质构造条件与持续强降雨等作用影响,各类矿山地质环境问题更加凸显。

1.1 地表变形及地质灾害

地下矿山开采可诱发采空区上覆岩体变形,进而导致建构筑物变形、地裂缝和地面塌陷等,矿山关闭后地表变形逐步减弱,但仍将持续较长时间;露天矿山开采存在不稳定边坡、危岩体或浮石掉块等安全隐患;同时矸石堆、排土场等存在顺坡或沿沟堆积,在持续强降雨作用下易发生塌滑,威胁当地群众的生命财产安全和生产生活。

1.2 含水层破坏及水土污染

地下矿山开采造成的含水层破坏主要为地下水和地表水资源的漏失,其往往具有不可逆性,一旦遭受破坏,便无法完全恢复。其主要体现为井泉点漏失,山坪塘干枯,水田漏失无法储水,水田变旱地,河道水漏失等。露天矿山开采改变地表水径流条件,影响区域水循环;雨水冲刷边坡及周边植被覆盖度低区域,加剧水土流失。此外,锰矿、煤矿等矸石、废渣废水造成周围水土物理性和化学性污染。

1.3 土地损毁

矿山开采对土地资源的损毁主要体现为挖损、压占和污染。一是采矿诱发地表沉陷和地裂缝等地质灾害,造成土地资源损毁;二是露天开采造成土地资源挖损;三是矸石、排土场堆积或工业广场、建构筑物、硐井口建设造成土地资源压占;四是矿山开采过程中固体废弃物和水体排放的污染物可能造成土壤理化性质改变,进而导致土壤原有功能丧失。

1.4 地形地貌景观破坏和生物多样性降低

露天矿山大规模开采或矸石、废石堆积造成地表高程发生变化,与周边生态景观极不协调,造成地形地貌景观破坏。开挖使植被遭受大面积损毁,基岩裸露,生境破碎,动物栖息地受到破坏,物种自由交流和迁徙途径被打断,区域径流条件和小气候改变,生物多样性降低。此外,矿山修复区域植被生长单一、外来物种入侵风险增加。

2 西南丘陵山区矿山地质环境监测现状与存在问题

2.1 监测对象与方法

根据西南丘陵山区矿山地质环境监测实践与国内矿产资源开发利用丰富的省份监测实践可知,现有矿山地质环境监测对象主要聚焦矿山本身,以开采过程中易出现的地质安全、水土环境破坏、地形地貌景观破坏为主(表 1),对矿山生态修复过程中水土环境变化、地形地貌景观与植被恢复鲜少涉及,缺乏对修复成效的科学判定,造成局部区域修复效果欠佳,甚至需要进行二次修复。

表 1 矿山地质环境监测对象

监测对象	监测内容
地质安全	地表变形、地下变形、边坡稳定性、建(构)筑物变形、滑坡、瓦斯溢出、孔隙水压力、岩土体含水率、岩体应力、宏观地质巡查等
水环境破坏	地下水位(水温)、地下水水质、地表水水质、地表水水位
土壤环境破坏	粒径、导电率、酸碱度、碱化度、重金属、无机污染物、有机污染物、土壤含水率、污染源距离
地形地貌景观破坏	剥离岩土体体积、植被损毁面积、土地损毁面积、土地利用

而与之对应的监测方法涉及遥感、自动化设备与人工采样。根据不同监测对象所采取的监测方法与设备的经济成本及可行性,在横向对比的基础上,进一步划分经济适用性。其中水土环境监测以人工监测为主,经济适用性较高,原因在于该类监测年际变化量小,开展高频次监测无实际价值;地质安全则表现出以全球导航卫星系统(GNSS)、拉线位移等方法经济适用性高,其原因在于地质安全问题具有突发性,其监测频次、监测精度相对要求较高,而自动化监测具有精度高、频率高、天气影响程度小等优点,综合来看更具有经济性(表 2)。

表2 矿山地质环境监测方法及适用性

监测对象	监测方法或设备	经济适用性
地质安全	人工宏观地质巡查、建(构)筑物变形多功能智能监测仪、拉线式位移计、全站仪、全球导航卫星系统(GNSS)、视频监测仪	高
	水(气)压力计、瓦斯检测仪、时域反射(TDR)同轴电缆监测设备	一般
	光纤光栅技术、一体化深部位移监测站、地质雷达、星载差分干涉测量雷达技术、地下深部塌陷监测装置	一般
土壤环境	人工取样检测	高
破坏	一体化土壤含水率监测站	一般
水环境破坏	人工取样检测	高
	投入式液位计、自动流量计	一般
地形地貌景	地表水水位仪	一般
	人工调查	高
观破坏	无人机遥感、卫星遥感	较高

2.2 政策支持

西南丘陵山区矿山地质环境监测的实施得到了国家与地方一系列政策文件的支持。国家层面,相继出台了《矿山地质环境保护规定》(2019年新修订)、《矿山地质环境恢复治理专项资金管理办法》(财建〔2013〕80号)、《矿山地质环境监测技术规程》(DZ/T 0287—2015)、《关于加强矿山地质环境恢复和综合治理的指导意见》(国土资发〔2016〕63号)、《地质环境监测管理办法》(2019年修正)与绿色矿山建设管理要求等,这些政策文件是实施矿山地质环境监测的重要遵循。地方层面,通过组织发布省市级矿产资源管理条例、矿山生态修复管理办法、矿山地质环境恢复基金管理办法等地方性法规和政策文件,明确要求了矿山生态修复方案编制与实施,为矿山地质环境监测提供了细化要求。例如,明确要求矿山地质环境恢复治理与土地复垦方案(以下简称“二合一”方案)中必须有矿山地质环境监测内容,矿企应严格按照批复的方案足额计提矿山地质环境治理恢复基金,逐年开展工作并定期提交总结报告,但目前监测监管方面仍存在盲点、技术要求不统一等问题。

2.3 组织保障

矿山地质环境监测管理涉及部门多,监测范围广泛。调研分析显示,现阶段西南丘陵山区矿山地质环境监测工作主要涉及自然资源、生态环境、应急管理、水利、林业、住房和城乡建设委员会、财政等部门

和矿山企业。总体上,通过自然资源部门会同生态环境部门、应急管理部门、水利部门、林业部门、住建委等部门加大执法力度和监测手段,倒逼矿山企业履行资源利用、矿山地质环境恢复治理、土地复垦、环境保护、安全生产、水土保持、林地保护等法定义务,进一步根据管理层级建立省(市)-区县-矿山企业的三级管理体系,明确各级主体的职责分工。同时,各部门在矿山地质环境监测中职能职责虽各有不同,但所监测内容却存在一定程度交叉,亟需各部门形成合力、统筹推进。

2.4 技术支撑

通过天上卫星遥感与无人机、地上自动化与人工、地下自动化联动方式,动态监测矿区地质环境演变规律,为区域内矿山生态修复与成效评估提供数据支撑,顺利推进矿山地质环境综合治理工作^[11-13]。现阶段已在部分重要矿区探索构建了“空-天-地-深”多维度立体监测网络,并在中梁片区、万盛采煤沉陷区等区域试点应用,即通过人工巡查和定期取样检测,对土壤质量、水质等内容进行监测,确保数据的全面性和准确性;利用GNSS、全站仪、倾斜仪、自动化流量监测等设备,对矿山边坡变形、地下水位、水质、排水量等参数进行实时监测;同时,通过无人机低空航摄和卫星遥感技术,快速获取矿区土地利用、植被覆盖、地形地貌等信息。

2.5 存在问题

西南丘陵山区现阶段针对监测对象与方法、政策支持、组织保障与技术支撑等方面开展了探索,但依然表现出监测监管存在盲点、监测技术要求不统一等问题,特别是生产矿山实际监测内容与“二合一”方案设计的监测工程匹配度不高。且矿山地质环境监测涉及部门较多,各部门在矿山地质环境监测中职能职责虽各有不同,但监测内容却存在一定程度交叉,亟需各部门形成合力、统筹推进。另外,各省市在监测技术上开展了诸多有益探索,但尚未在全域范围内形成“空-天-地”一体化监测技术体系,地质、水、土、气、生等多要素监测指标体系尚未统一。

3 矿山地质环境监测体系建设探索

3.1 总体目标与基本原则

3.1.1 总体目标

以保障西南丘陵山区矿业绿色低碳发展为总体

目标,通过构建科学、系统、全面的矿山地质环境监测体系,将安全、高效、生态开发理念贯穿于丘陵山区矿产资源勘查开发全过程,推动监测过程实现政府和企业上下联动,实现对矿山地质环境的动态监测、评估和预警,有效预防和控制矿山地质灾害,促进矿山地质环境保护与治理,推动矿产资源安全利用与生态环境保护协调发展。

3.1.2 基本原则

1)分类确责,突出重点。根据责任主体存续和灭失情况、矿山开采类型等因素,将矿山地质环境监测分为重点和一般两类。明确治理及监测责任主体,突出对重点矿区和重大地质灾害隐患的监测。

2)分区施策,因地制宜。根据矿山规模、采矿方式、矿种等差异,明确不同矿山地质环境监测的重点任务,分别采取针对性的监测措施,探索行之有效的多元化监测路径。

3)完善机制,标本兼治。将解决当前突出问题与健全长效机制相结合,完善已有矿山地质环境监测机制,加强源头防控和事中事后监管,实现矿山地

质环境监测与治理的有机结合。

4)政策引导,凝聚合力。以政府为主导充分发挥市场在资源配置中的决定性作用,制定和完善有利于矿山地质环境监测的政策措施,推动形成政策合力,鼓励矿山企业实践新技术、新方法,高效推进矿山地质环境监测。

3.2 体系框架

西南丘陵山区矿山地质环境监测管理目前涉及财政、自然资源、生态环境、应急管理、水利、林业、住建等多部门。根据2019年新修订的《矿山地质环境保护规定》要求,区域内自然资源主管部门负责建立矿山地质环境监测体系,部署监测网络,实施动态监测,并指导矿山企业开展监测,定期汇总上交监测资料;矿山企业作为实施主体,应结合矿山开采计划开展监测。其余各部门根据职责职能划分涉及环境污染、水土流失、开采过程地质体变形、林地损毁及地热尾水排放等内容。据此,西南丘陵山区矿山地质环境监测组织体系如图1所示。



图1 矿山地质环境监测组织体系

3.3 实施路径

1)建立一套管理制度。制定适应西南丘陵山区的省、市、区(县)、矿山企业四个层级的矿山地质环境监测管理操作手册,明确矿山监测建设、验收、运行维护、资料归档等全生命周期管理要求,形成“1+N”制度管理体系,提高监测事前服务矿山管理决策的针对性。

2)搭建一个系统平台。各省级自然资源部门搭建矿山开采全过程监管平台,研发矿山地质环境监测模块,接入财政、生态环境、应急管理等部门监测数据,并针对各省集中开采区接入面域遥感监测数据与典型矿区监测成果,实现矿山地质环境监测“一张图”展示;开通省-市-区(县)-矿山企业四级账户,省级不定期通过系统抽查矿山

地质环境监测上报情况,市县级定期检查行政区内矿山企业监测工作并提醒、督促未按时上传监测报告或资料的矿山企业;矿山企业自主上传监测资料或监测报告。

3)规范多种监测要素。矿山地质环境监测因涉及自然资源、应急管理、生态环境等多部门,存在

监测要求、监测要素重叠的问题。为避免监测重复建设,各部门应针对地质、水、土、气、生建立统一的监测指标。结合西南某省开展的矿山地质环境监测体系建设实践,矿山地质环境监测主要指标见表3。各类矿山可根据矿种、开采规模的不同,选择针对性指标进行监测。

表3 矿山地质环境监测指标

监测对象	监测内容	推荐监测方法	监测频次	适用矿区类型	
区域环境背景	土壤质量(土壤矿物质全量及微量元素、土壤养分)	现场测试、采样送检	1次/3年	露天/井工	
	植被调查(植被种类、覆盖度)	无人机航摄、现场调查		露天/井工	
地质安全	地表变形	全站仪自动跟踪测量、RTK、GNSS、测量机器人	1天/次	露天/井工	
	排土场稳定性	监测、地基 SAR、InSAR、LiDAR	或实时	露天	
土壤环境	土壤重金属、无机污染物	现场测试、采样送检	1次/年	露天/井工	
地质环境	地形地貌景观	土地损毁面积及类型、剥离岩土体积	无人机航摄、卫星遥感、全站仪自动跟踪测量、RTK	4次/年	露天/井工
	地表水排泄环境	排泄方式、排泄量	人工巡查	12次/年	露天
土壤环境	土壤养分、重金属	现场测试、采样送检	1次/年	露天/井工	
矿山地质环境恢复治理	地形地貌景观	危岩边坡治理体积、复垦面积及植被种类与面积	无人机航摄、卫星遥感、全站仪自动跟踪测量、RTK、样方调查	4次/年	露天/井工
	地表水排泄环境	截排水沟工程运行情况	人工巡查	12次/年	露天
地质宏观巡查	监测区矿山地质环境宏观变化	人工巡查	2次/月	露天/井工	

4 结束语

矿山地质环境监测体系建设是推动矿业绿色高质量发展的重要手段。地方政府部门应形成统一合力,规范监测制度要求、监测技术标准等,将区域生态环境、地质环境、安全生产等矿山监测工作有效衔接,实现矿山地质环境监测“一张图”,努力提升监测事前决策效能。矿山企业应根据开采阶段、开采规模及开采矿种特点等,选择合适的矿山地质环境监测指标与方法,实现矿产资源开采全生命周期动态监测,落实好监测服务生产要求。

[参考文献]

[1] 曾文浩, 宁迪, 刘国伟. 基于遥感技术的矿山地质环境监测实践[J]. 中国资源综合利用, 2023, 41(7): 132-139.

[2] 中华人民共和国自然资源部. 中国矿产资源报告(2023)[M]. 北京: 地质出版社, 2023.

[3] 武强, 陈奇. 矿山环境问题诱发的环境效应研究[J]. 水文地质工程地质, 2008(5): 81-85.

[4] 李孝弟. 湖南省矿山地质环境监测体系建设研究[D]. 长沙: 湖南大学, 2013.

[5] 郝红兵. 四川省攀枝花市典型矿区矿山地质环境评价及治理措施研究[D]. 成都: 成都理工大学, 2011.

[6] 关凤峻. 建立完善的矿山地质环境监测监管体系[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2016, 27(4): 3.

[7] 尹展, 王志红, 张建国, 等. 甘肃红会矿区矿山地质环境监测与评价研究[J]. 矿产勘查, 2017, 8(5): 906-911.

[8] 毕建伟. 地质环境监测现状及对策研究[J]. 环境与发展, 2018, 30(07): 151-152.

[9] 继明. 矿山地质环境监测技术方法研究[J]. 中国资源综合利用, 2020, 38(08): 133-135.

[10] 汪洁, 殷亚秋, 于航, 等. 基于RS和GIS的浙江省矿山地质环境遥感监测[J]. 国土资源遥感, 2020, 32(1): 232-236.

[11] 岳永胜, 罗志远, 姬霖. 矿山生态修复监测指标体系构建与应用[J]. 测绘通报, 2022(12): 136-140.

[12] 陈国良, 时洪涛, 汪云甲, 等. 矿山地质环境“天-空-地-人”协同监测与多要素智能感知[J]. 金属矿山, 2023(1): 9-16.

[13] 吴凤敏, 袁超, 余静, 等. 露天矿山地质环境监测分析——以重庆市中梁山片区为例[J]. 测绘与空间地理信息, 2023, 46(8): 55-58, 62.

Study on the Construction of a Mining Geological Environment Monitoring System in the Hilly Regions of Southwest China

SI Hongtao^{1,2,3}, ZHU Dongxue^{1,2,3}, YAN Youlong^{1,2,3}, LIU Jiang^{1,2,3}, MA Jianzhong⁴, LI Xin^{1,2,3},
ZHONG Xiaohua⁵, PENG Xiaodong^{1,2,3}, WANG Ke^{1,2,3}, WANG Chen^{1,2,3}

(1. Chongqing Geological Mineral Research Institute, Chongqing 401120, China;

2. Field Scientific Observation Research Station for Ecological Restoration of Typical Mining Areas in Chongqing (Chongqing Geological Mineral Research Institute), Chongqing 401120, China;

3. Field Scientific Observation Research Station for Ecological Environment Protection and Restoration in Wansheng Mining Area, Chongqing (Chongqing Geological Mineral Research Institute), Chongqing 401120, China;

4. Chongqing Jiulongpo Geological Environment Monitoring Station, Chongqing 400050, China;

5. Zhong County Farmland Protection and Construction Land Affairs Center, Chongqing 404300, China)

Abstract: The mining geological environment issues induced by the exploitation and utilization of mineral resources in the hilly regions of Southwest China are considered a threat to the production safety of mining enterprises, a cause of declining quality of life for local populations, and a factor that negatively impacts the region's green, sustainable, and high-quality economic development. In this paper, typical mining geological environment issues in the hilly regions of Southwest China was introduced. The present situation and existing problems of mining geological environment monitoring in the southwestern hilly areas were analyzed from the perspectives of monitoring objects and methods, policy, institutional framework, and technological approaches, and the overall goals and framework for constructing a mining geological environment monitoring system were established. Additionally, implementation pathways for monitoring system construction were proposed. The mining geological environment monitoring system can provide technical support for the systematic monitoring and dynamic management of mine safety production for mining enterprises in these regions.

Key words: the hilly regions of Southwest China; mining geological environment issues; monitoring system; geological safety; groundwater; green development